مجلة البحوث التطبيقية في العلوم والإنسانيات

قابلية التوصيل الحرارى للمواد المختلفة و تطبيقاتها فى الحياة

أيه هشام شفيق – روزانا أشرف عبد العزيز – عبير عبد الحليم صالح – مروه نصر أحمد – ناريمان مسعد صابر – هاجر مجدى حامد

د. مها محمود موسى. مدرس فيزياء الجوامد

جامعة عين شمس ، كلية التربية، برنامج البكالوريوس فى العلوم والتربية (الإبتدائى) تخصص العلوم

المستخلص

تهدف هذة الدراسة الوصول الى عرض علمى مفصل لمفهوم الحرارة و طرق إنتقالها خلال المواد و الاوساط المختلفة. و أيضا عرض التطبيقات الحياتية و الصناعية لقابلية التوصيل الحرارى للمواد المختلفة و أليات إنتقال الطاقة الحرارية. كما ناقشت هذة الدراسة أهمية التحليل الحرارى للمواد و مدى مساهمته الفعالة فى تحليل و تطوير خصائص المواد المستخدمة فى المجالات الصناعية و الهندسية. وتناولت الدراسة شرح للمسعر الحرارى التفاضلى (DSC) كأحد أجهزة التحليل الحرارى المستخدم لدراسة الخواص الحرارية لسبائك اللحام الخالية من الرصاص المستخدمة فى صناعة اللوحات الالكترونية. وتمت دراسة الخواص الحرارية لثلاثة سبائك لحام وهى قصدير–أنتيمون Sn–5Sb و قصدير–أنتيمون– فضة Sn–5Sb–1Ag و قصدير–أنتيمون–بيزموث Sn–5Sb–1Bi. و تم دراسة درجات حرارة الإنصهار Melting temperature و مدى درجات الحرارة اللازمة للتحول من حالة الى حالة أخرى Melting range . و وجد أن إضافة عنصر البيزموث Bi كان له التأثير الأفضل على الخواص الحرارية لسبيكة اللحام قصدير–أنتيمون.

الكلمات المفتاحية :

الخواص الحرارية , قابلية التوصيل الحرارى , تطبيقات , سبائك اللحام

1. المقدمة

تعتبر دراسة الخواص الحرارية للمواد المختلفة من الأبحاث ذات الأهمية الكبيرة في مجالات العلوم والهندسة، حيث تلعب هذه الخواص دوراً حاسماً في فهم سلوك المواد تحت تأثير درجات الحرارة المختلفة وتصميم التطبيقات التي تتطلب تحكماً دقيقاً في نقل الحرارة (جعفري محمد, 2018, 155). **فالحرارة** هى أحد مصادر الطاقة الرئيسية التي إهتم علماء الفيزياء بدراستها, وفهم قوانينها لأهميتها ولتأثيراتها الواسعة علي حياتنا. فالحرارة هي شكل من أشكال الطاقة التى ترافق حركة الذرات أو الجزيئات. وتنتقل الحرارة بين الاجسام نتيجة لفارق درجات الحرارة بينهم حيث تتسبب حركة الجزيئات والذرات داخل المادة في انتقال الحرارة من جسم أكثر سخونة إلى جسم أكثر برودة حتى تصل الجسمين إلى التوازن الحراري حيث تكون درجات الحرارة متساوية . فجميع المواد تتكون من جزيئات أو ذرات في حالة حركة مستمرة . و يتم قياس متوسط

سرعة حركة هذة الذرات أو الجزيئات عن طريق ما يسمى بدرجة الحرارة وتزداد سرعة هذه الحركة مع زيادة درجة الحرارة (Bentley، 1998،99-101). يعتمد التوصيل الحرارى للمواد على عدة عوامل منها التركيب البلوري للمادة حيث يؤثر ترتيب الذرات والجزيئات داخل المادة على قدرتها على نقل الحرارة. فعلى سبيل المثال، تكون المواد ذات التركيب البلوري العشوائي أقل قدرة على التوصيل الحراري مقارنة بالمواد ذات التركيب البلوري المنتظم. يختلف ايضا التوصيل الحرارى حسب نوع المادة فعلى سبيل المثال تكون المواد المعدنية عادةً أفضل موصلة للحرارة مقارنة بالمواد الاخرى (علياء عبد المحسن، 2018، 249-264).

تعتبر **مقاييس الحرارة** من الأدوات الأساسية والحيوية في العديد من المجالات العلمية والصناعية والطبية. حيث تلعب دورًا محوريًا في قياس ومراقبة درجات الحرارة، والتي تؤثر بشكل كبير على خصائص وسلوك المواد والأنظمة المختلفة. و تتنوع مقاييس الحرارة من حيث المبدأ الذي تعتمد عليه، والتصميم، والدقة، ونطاق القياس، والتطبيقات المناسبة لها. فهناك ترمومترات الزئبق التى تستخدم عمود زئبقي لقياس درجة الحرارة. وهي دقيقة ولكن محدودة النطاق بسبب درجة غليان الزئبق. و ترمومترات الكحول: تستخدم عمود من الكحول الملون لقياس درجة الحرارة وهي رخيصة ولكن أقل دقة من ترمومترات الزئبق. و هناك ايضا ترمومترات البيان الرقمي التى تستخدم مجسات حرارية إلكترونية مثل الثرموكبل أو المقاومات الحرارية، وتعرض القراءات رقميًا. و ترمومترات الأشعة تحت الحمراء: تقيس درجة حرارة الأجسام عن بُعد من خلال الإشعاع الحراري الصادر عنها. و مع التطورات التكنولوجية المتسارعة، تتطور مقاييس الحرارة باستمرار لتصبح أكثر دقة وكفاءة وسهولة في الاستخدام. كما تظهر أنواع جديدة من المقاييس تستجيب لاحتياجات التطبيقات المتخصصة والمتطلبات الفريدة. لذلك من المتوقع أن تستمر مقاييس الحرارة في احتلال دورا محوريا في تطوير التقنيات والعمليات المختلفة في المستقبل. ومن الوحدات المستخدمة لقياس درجة الحرارة هى الدرجة الكلفينية ، الدرجة المئوية و الفهرنهايت (الشامي، 2015، 315).

هناك **طرق** مختلفة لانتقال الحرارة بين الاجسام و الاوساط المختلفة و هى التوصيل و الحمل و الاشعاع بشرط أن يكون هناك اختلاف فى درجات الحرارة بين هذة المواد و الاوساط: i) **فالتوصيل الحرارى** Thermal conduction هو نقل الطاقة الحرارية عن طريق تبادل الحرارة بين جزيئات المادة ذات الطاقة العالية إلى الجزيئات ذات الطاقة الأقل دون انتقال لهذه الجزيئات. يحدث التوصيل أيضًا عندما يتلامس جسمان مصنوعان من مادة صلبة بشكل مباشر. ويكون نقل الحرارة فعالاً إذا كان سطحا الجسمين على اتصال جيد حيث تعتبر الموائع والتي تشمل السوائل والغازات موصلات ضعيفة مقارنة بالمواد الصلبة و هذا بسبب حرية حركة الإلكترونات في المواد الصلبة. ونجد أن بعض المواد موصلة جيدة مقارنة بالمواد الأخرى ويعود السبب إلى قيمة الناقلية الحرارية أو ما يسمى الموصلية الحرارية. ii) **الحمل الحرارى** Thermal convection يتم عن طريق انتقال الحرارة من مكان إلى آخر عبر السوائل والغازات، وذلك من خلال حركة جزيئات الوسط نفسه من مكان إلى آخر من خلال ما يسمى بتيارات الحمل (عبد الحميد رحيم ، 2019، 18). و بالتالى فإن الحمل الحراري يرجع إلى الاختلاف في الكثافة حيث تتدفق الحرارة من منطقة منخفضة الكثافة إلى منطقة عالية الكثافة. و هناك ما يسمى بالحمل القسرى و يحدث عندما يضطر السائل إلى التحرك بواسطة قوة خارجية مثل المروحة أو المضخة. ويشيع إستخدام هذا النوع من الحمل الحراري في التطبيقات الهندسية، كما هو الحال في أنظمة التبريد. iii) **الاشعاع الحرارى** Thermal radiation هو انتقال الحرارة على هيئة إشعاع كهرومغناطيسى و الذى يتمثل فى الاشعة تحت الحمراء IR. فعندما تسقط على سطح ما، يتم امتصاصها وبالتالي تنتقل الطاقة الحرارية إلى الجسم الممتص. كل جسم مهما كانت درجة حرارته يشع موجات كهرومغناطيسية، وفي نفس الوقت يمتص

الموجات الساقطة عليه. ويعتمد طول هذه الموجات على طبيعة سطح الجسم ودرجة حرارته (Halliday ، 2007). و من العوامل المؤثرة علي إمتصاص الإشعاع الحرارى: طول موجة الإشعاع الساقط و نوع المادة التي يسقط عليها الإشعاع و نوع الطلاء الذي يغطي السطح ولونه و خشونة السطح فكلما كان صقيلا قل امتصاصه. و قد وجد أيضا إن انتقال الحرارة بالاشعاع لا يحتاج إلى وسط مادي، كما في التوصيل و الحمل، و لذلك فإن خصائص الإشعاع الحراري هي نفس خصائص الاشعة الضوئية حيث تنتقل موجات الاشعاع الحراري في الفراغ بسرعة الضوء. كما ينطبق عليها قوانين الانعكاس و الانكسار و الاستقطاب والحيود و التداخل كما هو الحال فى الاشعة الضوئية. نجد أحيانًا أن انتقال الحرارة يحدث بأكثر من طريقة في نفس الوقت. يمكن أن تنتقل الحرارة بطريقة أو طريقتين، حسب نوع الوسط أو المادة التي تمر من خلالها. على سبيل المثال، يحدث النقل من خلال الفراغ فقط عن طريق الإشعاع، في حين أن التوصيل هو الطريقة الوحيدة لنقل الحرارة من خلال الأجسام غير الشفافة مثل القطع المعدنية. يمكن أن يحدث الإشعاع والتوصيل في وقت واحد في المواد الصلبة شبه الشفافة مثل الزجاج. غالبًا ما يحدث انتقال الحرارة من سطح المادة الصلبة إلى المناطق المحيطة بها عن طريق الحمل الحراري والإشعاع في وقت واحد. إذا قمنا بتضمين انتقال الحرارة بالتوصيل خلال هذه المادة، فسيكون هناك ثلاثة أنماط متزامنة. بشكل عام تنتقل الحرارة عبر الغازات الراكدة عن طريق كل من التوصيل والإشعاع، ولكن إذا كان الغاز متحركا، يصبح الحمل الحراري هو الوضع السائد، بالإضافة إلى كمية صغيرة من الإشعاع. ونلاحظ مما سبق أنه يمكن أن تنتقل الحرارة بطريقتين من خلال وسط مادي واحد، إلا أن تزامن الطرق الثلاث يتطلب وجود وسط آخر.

يوجد العديد من **التطبيقات الحياتية و الصناعية** يعتمد مبدأ عملها علي أليات الانتقال الحرارى. فنجد أن مجفف اليدين الكهربائي يعمل على تسخين الهواء ودفعهِ نحو اليدين المبتلتين بقطرات الماء؛ إذ يمر الهواء الساخن فوق قطرات الماء فيسخنها بالحمل، ويزداد تبخرها، فتجف اليد. و أيضا من الأجهزة المهمة و الأساسية فى حياتنا مكيفات الهواء و أجهزة التبريد و التدفئة و الكاميرات الحرارية التى يعتمد مبدأ عملها على انتقال الحرارة بالاشعاع الحرارى حيث تقوم بعرض الصور من خلال التقاط الطاقة الحرارية أو الأشعة تحت الحمراء غير المرئية، وتقوم بتحليل البيانات الإشعاعية التي تلتقطها وتحولها إلى صور مرئية. و يوجد العديد من الاستخدامات للكاميرات الحرارية منها الأمن حيث تستخدم الوحدات العسكرية التصوير الحراري في العديد من المعدات والأجهزة الأمنية العسكرية. و ايضا تستخدم فى الصناعة للكشف عن تسريب الغازات من داخل الأنابيب الخاصة، و فى فرق الطفاء والإنقاذ فتساعدهم الكاميرات الحرارية للبحث عن المحاصرين في أماكن غير ظاهرة نتيجة النيران أو الكوارث الطبيعية. و هناك تطبيقات اخرى تعتمد على أكثر من طريقة لانتقال الحرارة منها البيوت الزجاجية (الصوب الزجاجية) و السخانات الشمسية و التى تعتمد فى عملها على انتقال الحرارة بالاشعاع و الحمل الحرارى.

و قد وجد أن التطبيقات التى يعتمد مبدأ عملها على انتقال الحرارة بالتوصيل الحرارى تعتمد على قابلية التوصيل الحرارى للمواد المستخدمة . فتنقسم المواد الى مواد رديئة التوصيل للحرارة كالعوازل الحرارية مثل الأسبستوس والفلين والورق والألياف الزجاجية و موصلات حرارية جيدة كالمعادن مثل الالومنيوم و النحاس و القصدير و الفضة و لكل منها لها أهميتها فى المجالات الصناعية و العلوم الهندسية. فنجد من أمثلة استخدامات العوازل الحرارية العزل الحراري للمباني: تستخدم مواد عازلة مثل الصوف الصخري، الصوف الزجاجي، البوليستيرين المنصهر حيث تستخدم ألواح العزل الحراري لتقليل فقدان الحرارة من المباني وتحسين كفاءة استخدام الطاقة (العواد، 2018، 60). كما نجد أن المواد الموصلة للحرارة لها أهمية كبيرة فى كثير من التطبيقات منها صناعة السيارات حيث تستخدم المواد الموصلة في تصنيع أنظمة التبريد والتدفئة داخل السيارات.كما تُستخدم أيضاً في صناعة الفرامل الحرارية التي تعمل على توزيع

الحرارة وتبريدها أثناء الفرملة. (الصفدي، 2019، 85). و تدخل الموصلات الحرارية ايضا في صناعة الطاقات المتجددة حيث تستخدم المواد الموصلة في أنظمة توليد الطاقة الحرارية المرتبطة بالطاقة الشمسية والهوائية. و تستخدم الموصلات الحرارية ايضا فى **مجال الالكترونيات** حيث تستخدم السبائك التى أساسها عنصر القصدير كسبائك لحام فى اللوحات الالكترونية فى كثير من الأجهزة مثل أجهزة الحاسوب و الهواتف المحموله.و يوضح شكل (1) المكونات الداخلية لاحد اللوحات الالكترونية المستخدم فيها سبائك القصدير أثناء عملية اللحام (https://en.wikipedia.org/wiki/Soldering). و هناك تتطور كبير فى الابحاث العلمية فى هذا المجال و ذلك للوصول الى أقصى درجات الجودة لمكونات الأجهزة الالكترونية.

شكل (1): المكونات الداخلية لاحد اللوحات الالكترونية

و بالتالى فإن القدرة على التحكم في الحرارة، تحليلها، توجيهها، أو عزلها بدقة، تُعدّ مفتاحًا لنجاح العديد من التطبيقات في مختلف المجالات. فنجد أن التحليل الحراري للمواد المختلفة أداةً قويةً لفهم خصائصها وسلوكها تحت تأثير التغيرات الحرارية. تهدف هذة الدراسة الى فهم و تحليل الخواص الحرارية لبعض سبائك اللحام Solder alloys التى أساسها عنصر القصدير Sn حيث تم دراسة تأثير عنصر الفضة Ag و عنصر البيزموث Bi على الخواص الحرارية لسبيكة اللحام قصدير-أنتيمون Sn-5Sb.

2. الإطار النظرى

نجد أن أجهزة التحليل الحرارى تقدم الكثير من المفاهيم و المعلومات المهمة لفهم خصائص المواد مثل درجات حرارة التحلل الحراري، الانتقالات الطورية، تكوين المركبات الجديدة، معدلات التفاعل، عمليات الانصهار والتبلور والتركيب البللوري. و يساهم الفهم الدقيق لهذة المفاهيم فى تصميم وتطوير مواد جديدة ذات خصائص محسنة، فهم آليات التفاعلات الكيميائية، تحسين عمليات التصنيع و مراقبة الجودة في مختلف الصناعات. و من أمثله أجهزة التحليل الحرارى: الميزان الحراري (Thermogravimertric Analysis TGA) الذى يقيس التغيرات في كتلة العينة كدالة للحرارة أو الوقت في بيئة محكومة كالهواء أو غاز خامل. و يُستخدم لدراسة عمليات التحلل الحراري والاحتراق والتفاعلات الكيميائية. و التحليل الحراري التفاضلي (Differential Thermal Analysis DTA) و يقيس الفرق في درجة الحرارة بين العينة ومرجع معياري عندما يتم تسخينهما بمعدل ثابت و يستخدم لدراسة التفاعلات الكيميائية والتغيرات البنيوية. (محمد،2015، 93). و يوجد أيضا المسعر الحراري التفاضلي (Differntial Scanning Calorimetry DSC) و يقيس الفرق في كمية الحرارة المطلوبة لإحداث تغير في درجة حرارة العينة مقارنة بمرجع معياري عند نفس درجة الحرارة. و يستخدم لدراسة التغيرات المرتبطة بتغير الحالة الفيزيائية كالانصهار والتبلور. (محمد،2015، 93). و المسعر الحرارى التفاضلى DSC هو الاكثر استخداما لعمل التحليل الحرارى لسبائك اللحام المعدنية المستخدمة فى مجال الالكترونيات و ذلك لفهم خصائصها و تحسين كفاءتها. و من المفاهيم المهمة التى يمكن الحصول عليها من التحليل الحرارى للمواد باستخدام جهاز DSC هى melting temperature و solidus temperature و liquidus temperature و melting range و fusion heat.

تعتبر سبائك اللحام الخالية من الرصاص و تسمى Lead free solders و التى أساسها عنصر القصدير من المواد الاساسية المستخدمة فى الصناعة فى مجال الالكترونيات. و هناك العديد من الدراسات السابقة اهتمت بدراسة الخواص الحرارية لهذة المواد و ذلك لتحسين خصائصها و رفع كفاءتها على مدى فترة زمنية أطول. ففى دراسة A.A. El-Daly (2014) " Design of lead-free candidate alloys for low-temperature soldering applications based on the hypoeutectic Sn–6.5Zn alloy " تم دراسة تأثير إضافة عنصر النيكل Ni و عنصر الأنتيمون Sb على الخواص الحرارية لسبيكة قصدير-زنك Sn–6.5Zn . و وجد أن عنصر الأنتيمون كان له التأثير الافضل لامتلاكه قيم melting range أقل. و دراسة Pınar Ata Esener (2023) " Effect of Sb and In additives on thermal and electrical properties of Sn–9Zn–4Bi alternative lead-free solder alloy" ناقشت هذة الدراسة تأثير إضافة عنصر الأنتيمون Sb و عنصر الإنديوم In على الخواص الحرارية و الكهربية لسبيكة قصدير-زنك-بزموث Sn–9Zn–4Bi. و تم قياس الخواص الحرارية لهذة لسبائك اللحام الخالية من الرصاص باستخدام المسعر الحرارى التفاضلي (DSC). و تمت مناقشة قيم درجة الانصهار melting temperature و الموصيلة الحرارية thermal conductivity لهذة السبائك. و اتضح من هذة الدراسات أن إضافة عنصر الأنتيمون الى سبائك اللحام يعمل على تحسين خصائصها الحرارية. و بالتالى فإن تصنيع سبيكة لحام من عناصر القصدير و الأنتيمون Sn-Sb تجلعها من السبائك ذات الخصائص الجيدة فى مجال الالكترونيات. فقامت العديد من الابحاث والدراسات السابقة من أجل تحسين خصائص هذة السبيكة بإضافة بعض العناصر المعدنية و المركبات النانوية. دراسة M. M. Mousa (2023 , 1) " Synergetic Role of Ni and GOns to Improve the Microstructure and Mechanical Creep Rate of Sn-5Sb-0.7Cu Solder Alloy" تناولت تأثير اضافة عنصر النيكل Ni و مركبات أكسيد الجرافين النانوية GOns على الخواص الحرارية لسبيكة قصدير-أنتيمون-نحاس Sn-5Sb-0.7Cu . و ناقشت هذة الدراسة بعض المفاهيم الحرارية مثل melting temperature و melting range و undercooling range و كان التأثير الأفضل لعنصر النيكل. و بالتالى فإن الدراسة الحالية هى محاولة لدراسة و تحسين الخواص الحرارية لسبيكة اللحام قصدير- أنتيمون بإضافة عناصر أخرى مثل الفضة و البيزموث.

3. منهجية البحث والأدوات المستخدمة

فى هذة الدراسة تم استخدام ثلاثة سبائك لحام وهى قصدير-أنتيمون Sn-5wt%Sb و قصدير-أنتيمون-فضة Sn-5wt%5Sb-1wt%Ag و قصدير-أنتيمون-بيزموث Sn-5wt%Sb-1wt%Bi . وتم تحضير هذة السبائك عن طريق صهر مواد خام من معادن القصدير Sn و الانتيمون Sb والفضة Ag و البيزموث Bi و التى تتميز بنقاوة عالية 99.9% فى بوتقة من الجرافيت عند درجة حرارة 650 درجة مئوية و لمدة ساعتين فى فرن مفرغ من الهواء. أثناء عملية الصهر، تم تقليب السبائك المنصهرة بقضيب من الجرافيت للتأكد من امتزاج جميع المعادن بالكامل. بعد التأكد من تجانس الخليط، تم سكب السبائك المنصهرة في قالب من الفولاذ المقاوم للصدأ لتكوين قضبان أسطوانية بقطر 1 cm ، ثم تُركت بعد ذلك لتبرد تدريجيًا إلى درجة حرارة الغرفة.

لدراسة الخصائص الحرارية للسبائك الثلاثة تم استخدام جهاز التحليل الحراري التفاعلي (DSC). و هو أسلوب تحليلي حراري يتم من خلاله قياس

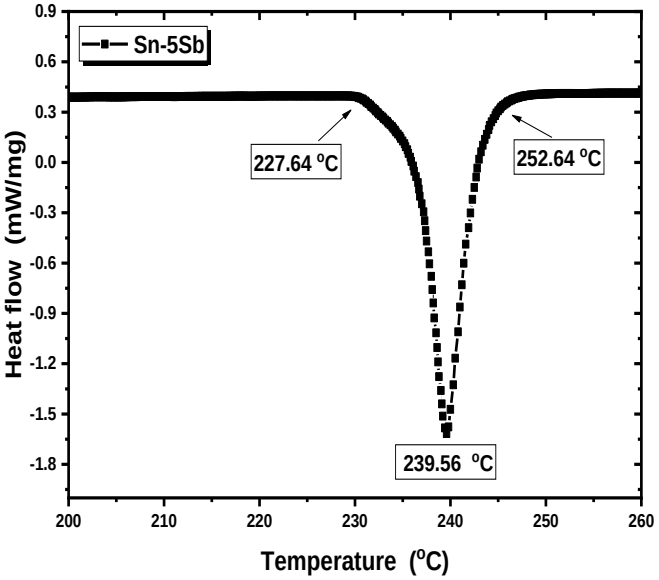
الفرق في كمية الحرارة المطلوبة لزيادة درجة حرارة العينة والمرجع كدالة لدرجة الحرارة. يتم الحفاظ على كل من العينة والمرجع عند نفس درجة الحرارة تقريبًا طوال التجربة. بشكل عام. ينبغي أن تتمتع العينة المرجعية بقدرة حرارية محددة جيدًا على مدى درجات الحرارة التي سيتم فحصها. يوفر DSC معلومات مفيدة حول: نقاط الانصهار، والبلورة، والسعة الحرارية، والعمليات الماصة للحرارة أو الطاردة للحرارة، والثبات الحراري، ودرجات حرارة التحول. فى الدراسة الحالية تم استخدام جهازShimadzu DSC-50 كما هو موضح فى شكل (2). تم استخدام أجزاء من السبائك المستخدمة كتلة كلا منها 10 mg. كان معدل التدفق الحرارة اثناء الاختبار يساوى $10^{o}C/min$.و تم استخدام غاز الأرجون عند إجراء الاختبار.

شكل (2): جهاز Shimadzu DSC-50

و تم الحصول على منحنى التحليل الحرارى DSC الذى بيوضح علاقة معدل تدفق الحرارة Heat flow المرتبط بتحولات المواد كدالة للوقت ودرجة الحرارة Temperature.

4. نتائج البحث

تعتبر دراسة الخصائص الحرارية من العوامل المهمة لإنشاء سبائك لحام جديدة تتميز بجودة qulity و موثوقية reliability عالية. تعد درجة حرارة الانصهار $(\mathbf{T_m})$ The melting temperature إحدى خصائص اللحام المهمة لأنها تحدد درجة حرارة التشغيل القصوى للنظام والحد الأدنى لدرجة حرارة المعالجة التي يجب أن تتحملها مكونات الاجهزة الالكترونية. شكل (3) يوصح التحليل الحرارى لسبيكة Sn-5Sb حيث لوحظ وجود قمة واحدة . أما نتائج التحليل الحرارى للسبيكتين Sn-5Sb-1Ag و Sn-5Sb-1Bi تم توضيحها فى الشكلين (**4**) و (**5**) على التركيب حيث لوحظ أيضا وجود قمة واحدة لكل منهما.



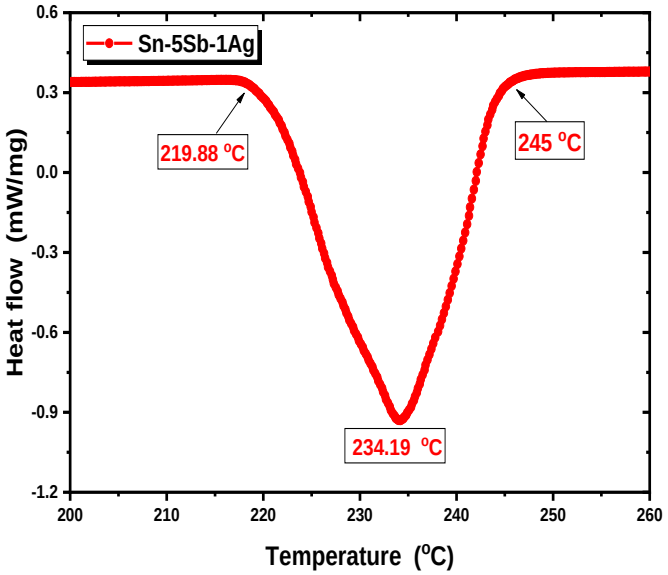
شكل (3) منحنى DSC **لسبيكة اللحام قصدير–أنتيمون** Sn-5Sn

من أهم المفاهيم الحرارية التى تلعب دورا فعالا فى تحسين أداء و كفاءة الأجهزة الالكترونية هى Melting range و هى المدى من درجات الحرارة التى تتحول فيها سبيكة اللحام من الحالة الصلبة الى الحالة السائلة و يتم حسابه من المعادلة التالية (M.M. Mousa ، 2023 ، 3) :

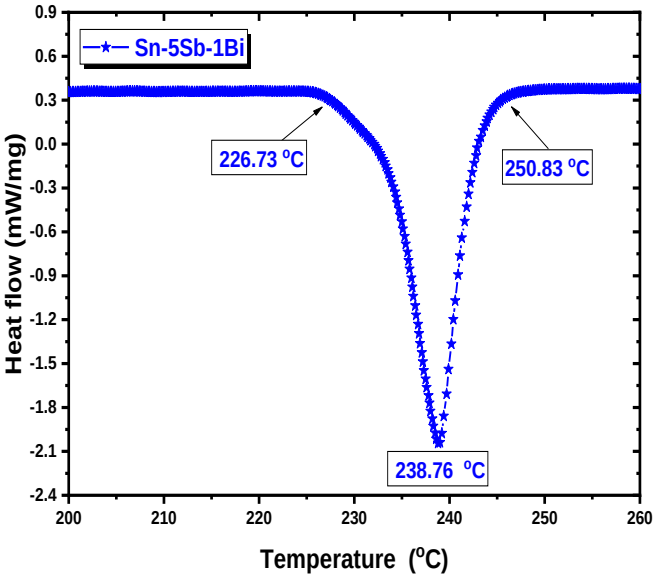
$$\Delta T = T_L - T_S \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث ΔT هى melting range , T_L هى Liquidus temperature و T_S هى Solidus temperature . و يقصد ب

Solidus temperature درجة الحرارة التى عندها تكون السبيكة فى الحالة الصلبة تماما و عند تجاوز هذة الدرجة تبدأ السبيكة فى الذوبان. و عندما يحدث الذوبان الكامل للسبيكة تسمى Liquidus temperature. و تم تدوين قيم T_m, T_S, T_L, T فى جدول (1).



شكل (4) منحنى DSC لسبيكة اللحام قصدير–أنتيمون– فضة Sn–5Sn–1Ag



شكل (5) منحنى DSC لسبيكة اللحام قصدير–أنتيمون–بيزموث Sn–5Sn–1Bi

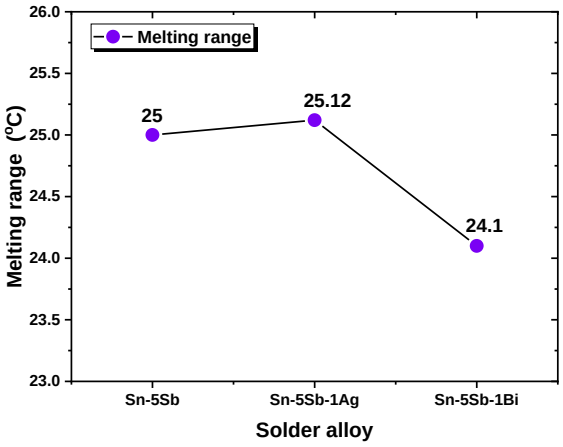
جدول (1) : مقارنة بين melting point (T_m) و solidus (T_s) temperatures و liquidus temperatures (T_L) و melting range(ΔT) **لسبائك اللحام المستخدمة فى الدراسة.**

Solder alloy سبيكة اللحام	T_m (^0C)	T_S (^oC)	T_L (^oC)	ΔT (^oC)
Sn–5Sb	239.56	227.65	252.64	25
Sn–5Sb–1Ag	234.19	219.88	245	25.1
Sn–5Sb–1Bi	238.76	226.73	250.83	24.1

5. تفسير النتائج

تتميز سبائك القصدير– أنتيمون بخصائص ميكانيكية جيدة مثل معاملات صلابة و المرونة. و تتميز أيضا بخصائص كهربية و حرارية جيدة و بالتالى تستخدم على نطاق واسع فى مجال صناعة الالكترونيات. و تسعى الابحاث و الدراسات بشكل مستمر من أجل الوصول الى خصائص أفضل. ففى الدراسة الحالية تم دراسة تأثير إضافة عنصر الفضة و البزموث على الخصائص الحرارية لسبيكة القصدير– أنتيمون. أوضحت نتائج التحليل الحرارى DSC للسبائك الثلاثة انها تحتوى على Peak واحدة و هى Endothermic peak و تمثل درجة إنصهار المادة T_m . و وجد انها تساوى 239.56 , 234.19 و 238.76 درجة مئوية (^oC) الخاصة ب Sn–5Sb , Sn–5Sb–1Ag و Sn–5Sb–1Bi على الترتيب. و أوضحت النتائج أن إضافة عنصر الفضة Ag أدى الى تقليل درجة الانصهار بحوالى 5.37 ^oC و يرجع ذلك الى إختلاف التركيب البلورى لها. أما إضافة عنصر البيزموث أدى الى وجود تغير بسيط على درجة الانصهار لسبيكة Sn–5Sb .

تم حساب قيم melting range (ΔT) للسبائك الثلاثة من المعادلة (1). و **ΔT** من المتطلبات الاساسية فى صناعة الاجهزة الالكترونية حيث أى سبيكة يطلق عليها سبيكة لحام جيدة إذا كانت تمتلك قيمة أقل من **ΔT** حيث تؤدى الى سرعة تنفيذ عملية اللحام و تقليل المسامية (M M **Mousa**, 2024, 5) . تم تسجيل قيم ΔT للسبائك الثلاثة فى جدول (1). و جد أن قيم **ΔT** هى 25 , 25.1 و 24.1 الخاصة لسبائك Sn-5Sb , Sn-5Sb-1Ag و Sn-5Sb-1Bi على الترتيب. من هذة النتائج لوحظ أن إضافة عنصر الفضة ليس له تأثير على قيمة **ΔT** بينما السبيكة الثلاثية Sn-5Sb-1Bi تمتلك اقل قيمة من **ΔT** (أنظر شكل (**6**)).



شكل (6) **تأثير اضافة الفضة و البيزموث على** Melting range **لسبيكة قصدير– أنتيمون**

و بالتالى فإن اضافة عنصر البيزموث له التأثير الافضل على تحسين كفاءة سبيكة اللحام الثانية Sn-5Sb. دراسة M.I.I. Ramli (2020, 3) "The effect of Bi on the microstructure, electrical, wettability and mechanical properties of Sn-0.7Cu-0.05Ni alloys for high strength soldering" تناولت تأثير إضافة عنصر البيزموث على الخصائص الفيزيائية لسبيكة اللحام قصدير– نحاس– نيكل Sn-Cu-Ni. و وجد أن عنصر البيزموث له تأثير فعال فى تحسين خصائص السبيكة و هذا يرجع الى الذوبان العالى لعنصر البزموث عند انصهاره مع السبيكة الاصلية . و هذا يعمل على تكوين ما يسمى Solid Solution Effect الذى يعمل على تحسين خصائص و زيادة كفاءة السبيكة الذى تحتوى على عنصر البيزموث Bi . و **دراسة** Tixin Yang (4727،2022) ناقشت تأثير إضافة عنصر البيزموث على الخواص التركيبية و الميكانيكية و الحرارية على سبيكة اللحام قصدير–فضة–نحاس. و استنتجت الدراسة أن إضافة عنصر البيزموث كان له تأثير طفيف على درجات الانصهار **Tm** و لكن أدت الى تقليل قيم **ΔT** . و بالتالى يمكن استخدام السبيكة المضافة اليها عنصر البيزموث فى تشكليل وصلات لحام ذات كفاءة عالية. و فى الدراسة الحالية ظهر نفس السلوك الجيد عند إضافة عنصر البيزموث الى سبيكة اللحام القصدير– أنتيمون.

6. الخاتمة

ناقشت هذة الدراسة تأثير إضافة عنصر الفضة Ag و البيزموث Bi على الخواص الحرارية لسبيكة اللحام قصدير–أنتيمون Sn-5Sb . و اعتمادا على النتائج العملية تم الحصول على النتائج التالية:

1) أوضحت نتائج التحليل الحرارى أن سبائك اللحام الثلاثة Sn-5Sb , Sn-5Sb-1Ag و Sn-5Sb-1Bi تحتوى على peak واحدة و هى Endothermic peak.
2) إضافة عنصر الفضة ادى الى تقليل فى درجة الانصهار Melting temperature بينما عنصر البيزموث كان له تأثير طفيف على عليها.

3) التأثير الافضل فى قيم Melting range كان للسبيكة الثلاثية Sn-5Sb-1Bi . و هذا يرجع الى Solid solution effect of Bi.

و بالتالى نجد أن اضافة عنصر البيزموث Bi الى سبائك اللحام يعمل على تحسين خصائصها. و لذلك يعتبر البيزموث من الاضافات الجيدة التى تعمل على رفع جودة سبائك اللحام فى التطبيقات الالكترونية.وبالتالى فإن الدراسة الحالية توصى بإضافة عنصر البيزموث الى سبائك لحام أخرى و ذلك لتحسين خصائصها و زيادة جودة أدائها.

7. الشكر والتقدير

يتوجة المؤلفون بخالص الشكر و التقدير الى إدارة قسم الفيزياء و إدارة كلية التربية بجامعة عين شمس للمساهمة فى إنجاز هذا العمل.

8. المراجع والمصادر

- جعفري، محمد وعبد الحكيم العيداني (2018) . دليل التحليل الحراري للمواد البوليمرية. دار الشروق،155-165.
- Bentley, R.E., (1998) Handbook of Temperature Measurement , Springer,1
- علياء عبد الحسين سلمان (2018). دراسة تأثير معامل التوصيل الحراري لبعض المواد المستخدمة في صناعة مبادلات الحرارة. مجلة الهندسة والتكنولوجيا، 36، 249-264 .
- عبد الحميد رحيم, خالد هلال, عدي طارق صبحي, طاهر محمد (2019). الحرارة، جامعة بغداد ، 201918
- الشامي، عادل محمد (2015). مقاييس الحرارة والضغط في الهندسة الميكانيكية، دار المناهج للنشر والتوزيع ،الأردن .
- Halliday, Robert Resnick, David Inc., Jearl Walker., John Wiley & Sons (2007), 8th Ed. Fundamentals of physics
- العواد علي (2018). تحليل استخدام المواد العازلة في صناعة السيارات، مؤتمر الهندسة الميكانيكية،60.
- الصفديحسن (2019). مواد التبريد والتدفئة في السيارات: التحديات والاتجاهات المستقبلية، مؤتمر المواد والهندسة ,85.
- محمد علي ، فهد العامر(2015). التحليل الحراري للمواد، دار الفكر العربي ، 93.
- A.A. El-Daly, A.E. Hammada, G.S. Al Ganainy A.A. Ibrahiem (2014). Design of leadfree candidate alloys for low temperature soldering applications based on the hypoeutectic Sn–6.5Zn alloy, Materials and Design, 56.
- Pınar Ata Esener, Bilal Demirel, Sezen Aksöz, (2023). Effect of Sb and In additives on thermal and electrical properties of Sn–9Zn–4Bi alternative lead-free solder alloy Materials Chemistry and Physics,, 296, 127223.
- MMMousa, MAMahmoud, MMEl Zhery and MSobhy (2023). Synergetic Role of Ni and GOns to Improve the Microstructure and Mechanical Creep

Rate of Sn-5Sb-0.7Cu Solder Alloy, . Phyisca Scripta, 98.

- M M Mousa ,M Sobhy and M A Mahmoud (2024). Correlation of microstructure with thermal and tensile creep properties of novel Sn-5Sb-0.5Cu alloy reinforced with Co particles for soldering applications Phyisca Scripta, 99
- Tixin Yang ,Youyang Chen ,Kangdong You ,Ziqiang Dong ,Yandong Jia ,Gang Wang ,Jubo Peng,Shanshan Cai ,Xiaobin Luo ,Chen Liu andJiajun Wang , (2022). Effect of Bi, Sb, and Ti on Microstructure and Mechanical Properties of SAC105 Alloys,Materials, 4727